

УДК 631.43 + 502.3

О. О. Шугуров

Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара

МОНИТОРИНГ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВЕННЫХ СЛОЕВ

Описано використання занурюваних зондів із багаторізними електродами для моніторингу фізичних параметрів ґрунтового покриву. Для «n» пар електродів зонда, використовуючи 2n вимірювань, визначали пошарові та міжшарові значення електросмності, індуктивності, імпедансу та електропровідності зразків ґрунту. Результати вимірювань подавали у вигляді пошарових градієнтів досліджених параметрів.

O. O. Shugurov

Oles' Gonchar Dnipropetrovsk National University

MONITORING OF GROUND ELECTROPHYSICAL PARAMETERS

In this paper the application of intraground sondes with multilevel electrodes for monitoring of main physical parameters of soil cover is described. We measured the value of the condenser capacity, inductance, impedance and electrical conductivity of a sample of soil for "n" of electrodes pairs of the sonde. The results of measurements are submitted as a level-by-level gradient of studied parameters.

Введение

Как правило, агрофизический мониторинг состояния почв необходимо проводить в их естественном залегании [1; 4], поэтому, в большинстве случаев, их электрическую активность изучают путем размещения измерительных электродов в полевых условиях. Однако практика показала, что измерение физических параметров электропроводности грунтов точнее при применении кондуктометрических ячеек [5], в которые вмонтированы электроды, предназначенные как для измерения, так и подачи тестового напряжения [6].

Известно, что на разных глубинах почвы электрофизические параметры могут очень быстро меняться, причем интенсивность электрохимических процессов зависит не только от концентрации в почвенной воде ионов химических веществ [7], но и от влажности анализируемой среды [2]. При колебаниях химического состава анализируемой среды значительно увеличивается погрешность измерений: наблюдающееся на практике изменение концентрации ионов в почвенном растворе приводит к тому, что в ряде случаев интенсивность электрохимических процессов определяется не только колебаниями влажности, но и колебаниями солесодержания почвы, что приводит к увеличению ошибки до 100 % [3; 8]. Вот почему повышение точности почвенного мониторинга потребовало решений, сочетающих в себе оба указанных метода (естественного зондирования или анализа в специальных ячейках), чему и посвящена данная работа.

Материал и методы исследований

Для мониторинга электрофизических параметров слоев почвы применили подход, при котором использовали зонд с набором экранированных кондуктометрических ячеек с шагом, равным величине одного электрода.

Для этого разработан специальный зонд с несколькими парами хлорсеребряных электродов, расположенных на различной высоте. В проведенных исследованиях почву во внутреннем канале зонда изолировали от соприкосновения с почвой внешней его стороны. Площадь сечения канала выбирали равной площади электродов. Поэтому физические параметры почвенного образца, заключенного в полости зонда, стало возможным рассматривать как линейно-изменяющиеся относительно увеличения расстояния между электродами.

В качестве естественного образца использовали почву ботанического сада Днепропетровского национального университета (чернозем), предварительно политую дистиллированной водой (10 г/см^2). Использовали такие параметры системы измерения: площадь сечения электродов и полого канала (S) в зонде – 1 см^2 , переменная частота, на которой производится измерение емкости (C) и индуктивности (L) – 1 кГц .

Результаты

В наиболее простом случае в зонде использовали набор из $n=5$ пар электродов: a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 и b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 . При измерении к блоку анализа подключали электроды зонда одной стороны (a) и поочередно все электроды другой (b), в результате чего получали измерения на парах $a_1-b_1, a_1-b_2, a_1-b_3, \dots, a_5-b_5$ (рис. 1). То есть измерения проводили до тех пор, пока не был подсоединен последний (нижний) электрод одной полюсы зонда (a_n) и последний (нижний) – другой (b_n).

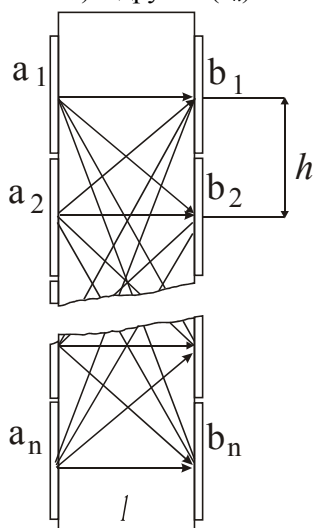


Рис. 1. Схема принципа измерения физических параметров почвы при их многомерной регистрации: l – расстояние между электродами по горизонтали, h – по вертикали зонда; объяснение в тексте

В начале для первой пары (a_1 и b_1) определяли сопротивление $R_{a_1b_1}$ между электродами. Далее последовательно измеряли указанные параметры между электродами a_1 и b_2 . Считая, что между двумя смежными областями

$$\gamma_{a_1b_2} = \frac{\gamma_{a_1b_1} + \gamma_{a_2b_2}}{2} = \frac{\sqrt{l^2 + h^2}}{R_{a_1b_2} S}, \quad (1)$$

где h – расстояние между центрами соседних электродов, находили $\gamma_{a_2b_2}$: $\gamma_{a_2b_2} = 2 \cdot \gamma_{a_1b_2} - \gamma_{a_1b_1}$. Далее, проводя измерения для электродов a_1 и b_3 , определяли $\gamma_{a_2b_3}$,

$$\gamma_{a_1b_3} = \frac{\gamma_{a_1b_1} + \gamma_{a_2b_2} + \gamma_{a_3b_3}}{3} = \frac{\sqrt{l^2 + (2h)^2}}{R_{a_1b_3} S}, \quad (2)$$

откуда определяли удельную электропроводность для слоя 3:

$$\gamma_{a_3b_3} = 3 \cdot \gamma_{a_1b_3} - \gamma_{a_1b_1} - \gamma_{a_2b_2}.$$

Аналогично, для любого слоя « n » справедлива формула:

$$\gamma_{a_nb_n} = n \cdot \gamma_{a_1b_n} - \gamma_{a_1b_1} - \gamma_{a_2b_2} - \dots - \gamma_{a_{(n-1)}b_{(n-1)}}.$$

Следовательно, при измерении относительно электрода a_1 найдено n параметров электропроводности γ (по постоянному току) для слоев почвы a_1-b_1 , a_2-b_2 , a_3-b_3 и т. д. до a_n-b_n . Для каждого из n слоев получено $2n$ измерений электропроводности. Можно говорить, что чем больше электродов в зонде, тем более точные измерения для каждого слоя и гуще (тоньше) слои почвы, для которых находят физические параметры.

Почва имеет определенные диэлектрические свойства [3], поэтому для мониторинга ее состояния необходимо также иметь набор ее параметров, полученных на переменном токе. После регистрации $R_{a_1b_1}$, зная величину l и S , определяли также $C_{a_1b_1}$ и индуктивность $L_{a_1b_1}$ на определенной частоте (ν) задающего генератора, используя присоединенные к почвенному образцу выходы блока переменного тока. Аналогично вышесказанному, находили $2n$ параметров для всех послойных C и индуктивность L и производили их усреднение по слоям. Затем вычисляли полное сопротивление (импеданс, Z) образца почвы по формуле:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}, \quad (3)$$

где ω – круговая частота ($\omega = 2 \cdot \pi \cdot \nu$). Подставляя вместо R полное сопротивление цепи Z (активное и реактивное), находили электропроводность слоев на переменном токе γ_n . Данные такого анализа приведены в таблице 1 для значений параметров электропроводности для 4 слоев почвы. Для приведенных данных ввиду предварительного полива (за 5 мин. до измерения) градиент влаги в почве был направлен сверху вниз (в глубь почвы).

Таблица 1

**Изменения R , L , C параметров почвы
в зависимости от использования пары регистрирующих электродов**

Электроды	b_1			b_2			b_3			b_4			b_5		
	R , кОм	L , мкГн	C , нФ	R , кОм	L , мкГн	C , нФ	R , кОм	L , мкГн	C , нФ	R , кОм	L , мкГн	C , нФ	R , кОм	L , мкГн	C , нФ
a_1	11,2	12	63,4	11,6	8	65,7	11,9	6	67,4	13,3	4	75,3	15,2	3	79,2
a_2	11,5	8	65,6	12,1	9	68,5	12,4	7	70,2	14,0	4	78,8	15,9	2	82,3
a_3	12,0	6	67,6	12,2	5	70,1	12,8	8	72,1	14,5	0	81,6	16,7	0	84,5
a_4	13,2	5	75,1	13,9	2	78,7	14,4	0	81,5	15,2	0	86,1	17,7	0	87,8
a_5	14,1	4	77,2	14,6	0	88,3	15,8	0	87,1	16,9	0	91,3	19,2	0	94,3

Проведя автоматизированный анализ большого количества измерений физических параметров, получили послойные усредненные данные импеданса и электропроводности для слоев почвы (табл. 2), количество которых соответствует количеству параллельных пар электродов в зонде (в приведенном случае – 5).

Из таблицы 2 можно видеть, что наибольшие расхождения между электропроводностью для постоянного и переменного напряжения (γ и γ_n) отмечаются именно для слоев с высокой влажностью (в данном случае – верхнего). В то же время в более су-

хих слоях различия существенно уменьшаются. Это происходит за счет снижения емкостного и индукционного компонентов проведения тока в диэлектрике, каким является пористая почва.

Таблица 2

Усредненные данные 8 измерений физических параметров по каждой паре электродов зонда

Слои	γ (1/Ом·см)	Z (Ом)	γ_{II} (1/Ом·см)
a_1-b_1	$8,9 \cdot 10^{-5}$	10012	$9,98 \cdot 10^{-5}$
a_2-b_2	$8,3 \cdot 10^{-5}$	11172	$8,95 \cdot 10^{-5}$
a_3-b_3	$7,8 \cdot 10^{-5}$	12014	$8,32 \cdot 10^{-5}$
a_4-b_4	$6,5 \cdot 10^{-5}$	14743	$6,78 \cdot 10^{-5}$
a_5-b_5	$5,5 \cdot 10^{-5}$	16681	$5,33 \cdot 10^{-5}$

В зависимости от глубины слоя h для каждого параметра можно строить визуальный «срез» почвы и оценивать ее состояние и влажность на разной глубине залегания (рис. 2), причем «градиентом» цвета (в приведенном случае для отображения использована GrayScale) является значение электропроводности на постоянном или переменном токе. В приведенных измерениях почва была предварительно полита водой, в результате чего в пределах первых трех слоев параметры достаточно близки. Это свидетельствует о том, что вода прошла первые три слоя, но еще не полностью смочила четвертый и пятый слои.



Рис. 2. Визуальное послойное представление градиента величины электропроводности (γ) почвы: по вертикали – глубина почвы h (см); по горизонтали – ширина почвенного слоя l (см); значение «белого» соответствует величине $4 \cdot 10^{-5}$ 1/Ом·см, черного – 10^{-4} 1/Ом·см

Аналогичные «срезы» почвы можно делать для любых ее физических параметров. При этом образцы не вынимают из грунта, что позволяет проводить длительный экологический мониторинг, соответствующий стандартным нормам экологического контроля [4].

Выводы

Мониторинг параметров почв в условиях изменяющейся влажности целесообразно проводить в естественных условиях. Наиболее перспективно применение одновременной регистрации целого ряда взаимосвязанных физических параметров почвы, причем их оценку для каждого слоя необходимо производить не только через «свой» слой, но и через все соседние слои, что дает более точные результаты измерений. В связи с равными линейными размерами электродов и внутризондового канала появляется возможность увеличения дискретизации исследуемых слоев почвы за счет увеличения количества пар электродов в зонде.

Библиографические ссылки

1. **Ананьева Л. М.** Принципы и методы геосистемного мониторинга / Л. М. Ананьева, А. Д. Арманд, Н. А. Барымова. – М.: Наука, 1989. – 168 с.
2. **Воронин А. Д.** Структурно-функциональная гидрофизика почв. – М.: Изд-во МГУ, 1984. – 204 с.
3. **Воронин А. Д.** Основы физики почв: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 244 с.
4. **Долина Л. Ф.** Мониторинг окружающей среды и инженерные методы охраны биосферы. – Д.: Континент L, 2002. – 208 с.
5. **Лопатин В. А.** Кондуктометрия. – Новосибирск: СО АН СССР, 1978. – 395 с.
6. **Пешков Б. А.** Устройство для измерения электропроводности грунтов / Б. А. Пешков, В. М. Яшин, Б. А. Спешков // Пат. RU № 92008679, МПК G01N27/02, опубл. 27.01.1995.
7. **Пинский Д. А.** Ионообменные процессы в почвах. – Пущино: Ин-т почвовед. и фотосинтеза, 1997. – 166 с.
8. **Русин Г. Г.** Физико-химические методы анализа в агрохимии. – М.: Агропромиздат, 1990. – 303 с.

Надійшла до редколегії 10.01.2008